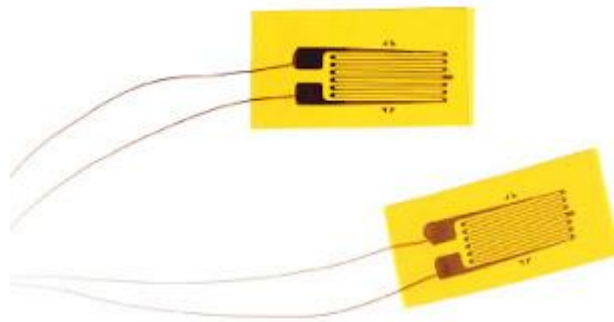


## BAB II PEMBAHASAN

### 2.1 Pengertian *Strain Gauge*

*Strain Gauge* adalah komponen elektronika yang biasa digunakan untuk mengukur suatu deformasi maupun strain. Alat ini mempunyai bentuk *foil* berupa logam yang mempunyai sifat isolasi yang ditempelkan pada benda uji yang akan diukur tekanannya, dan tekanan yang dihasilkan didapat dari pembebanan. Cara kerjanya adalah jika tekanan yang terjadi pada benda mengalami perubahan, maka kawat logam akan mengalami deformasi, dan nilai tahanan pada alat pun berubah. Perubahan pada tahanan selanjutnya dimasukkan ke dalam rangkaian listrik berupa jembatan *Wheatstone*. Setelah itu akan diketahui berapa besarnya tahanan pada *Strain Gauge*.

Sensor *strain gauge* pada dasarnya adalah tipe kawat logam, dimana konfigurasi dari *grid* terbentuk melalui proses *photoetching*. Karena proses yang mudah, maka dapat dibentuk ukuran dari *gauge* yang bermacam macam. Untuk ukuran panjang *strain gauge* yang terkecil yang tersedia sebesar 0,20 mm, dan yang terbesar sebesar 102 mm. Tahanan *strain gauge* dengan ukuran umum sebesar 120 mm dan 350 ohm, selain itu ada *strain gauge* dengan tujuan khusus yang tersedia sebesar 500, 1000, dan 1000 ohm. (U.A.Bakshi, 2008). Gambar *strain gauge* ditunjukkan dibawah ini



**Gambar 1. Sensor Strain Gauge**  
(Sumber : [lensateknik.blogspot.com](http://lensateknik.blogspot.com))

### 2.1.1 Macam-macam *Strain Gauge*

Sensor dari gaya yang bermuatan memiliki fungsi untuk merubah gaya, torsi dan regangan menjadi sebuah hambatan. Sensor *strain gauge* terbuat dari kawat bertahanan tipis yang memiliki diameter sebesar 1 mm. Kawat tahanan yang umum dipakai adalah campuran dari bahan-bahan antara lain Cu sebesar 60 % dan Ni sebesar 40 %. *Strain gauge* memiliki beberapa jenis antara lain adalah sebagai berikut:

a. *Unbonded strain gauge*

Jenis *strain gauge* ini dibentuk dengan tahanan kawat yang dipasang dengan lurus dan simetris. Jika rangkai atau papan mengalami tekanan dari luar, nilai resistansi mengalami perubahan atau membesar.

b. *Bonded strain gauge*

Susunan kawat tahanan yang terdapat di dalam berbentuk berliku-liku, sehingga mudah mendeteksi gaya tekan yang tegak lurus dengan arah panjang dari lipatan kawat, karena tekanan akan menarik kawat sehingga kawat meregang. Dengan meregangnya *strain gauge*, terjadilah perubahan pada tahanan kawat

Pada perancangan ini, *strain gauge* yang digunakan adalah jenis *bonded strain gauge*. Dikarenakan objek yang di ukur berupa kaleng dan besaran dari pengukuran yang dilakukan berupa regangan.

### 2.1.2 Prinsip kerja *Strain Gauge*

*Strain gauge* adalah sebuah kawat logam berliku-liku yang tipis ditempelkan pada permukaan dari benda. Apabila kawat logam dibebani, maka akan terjadi regangan. Tahanan yang terjadi pada kawat logam yang berubah berbanding lurus dengan regangan induksi beban.

Gaya yang diberikan kepada benda uji, selain menghasilkan regangan berbentuk fisik juga menghasilkan perubahan sifat resistansi tahanan listrik pada benda uji.

Dengan melekatkan *strain gauge* pada benda uji menggunakan perekat isolatif dengan arus listrik, maka *strain gauge* menghasilkan suatu perubahan resistansi yang besarnya berbanding lurus pada deformasi kawat.

Apabila ada suatu gaya yang dihasilkan, maka perubahan resistansi akan sesuai dengan gaya yang diberikan. Cara kerja dari penggunaan resistansi elektrik pada *strain gauge* adalah fakta bahwasanya resistansi dari perubahan yang terjadi pada kawat logam untuk fungsi tegangan, meningkat serta menurun dengan adanya gaya. Perubahan pada resistansi diukur menggunakan suatu rangkaian listrik berupa *Wheatstone Bridge*. *Strain gauge* melekat pada benda uji dan kemudian di tekan yang sama seperti benda uji yang dalam proses pengujian (U.A.Bakshi, 2008).

### 2.1.3 Aplikasi *Strain Gauge*

Secara umum, aplikasi dari *strain gauge* digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan tekanan pada suatu materi uji. *Strain gauge* sering digunakan dalam penelitian teknik mesin dan pengembangan untuk mengukur tekanan yang dilakukan oleh mesin. Pengujian komponen pada pesawat merupakan salah satu area penggunaannya, berbagai komponen penting dari rangka pesawat menggunakan *strain gauge* untuk menguji ketahanannya terhadap tekanan (Carpenter, 2008).

Pengaplikasian yang berbeda pada *strain gauge* juga dapat dilihat pada bidang biomedis. Beberapa contoh pengaplikasian: dapat difungsikan untuk mengukur kontraksi dari otot kardial secara terus menerus, untuk mengukur laju pernapasan, untuk mengukur tekanan darah, supaya mengetahui abnormalitas dari kardiovaskular dan juga dikembangkan untuk mendeteksi dalam proses pemasangan anggota tubuh buatan (C. Raja Rao, 2000)

Pada perancangan yang dilakukan menggunakan pengaplikasian dari *strain gauge*. Di mana *strain gauge* di pasang pada kaleng untuk mencari tegangan dan regangan dari deformasi yang terjadi pada kaleng ketika kaleng diberi tekanan angin dari kompressor.

### 2.1.4 Perhitungan pada *Sensor Strain Gauge*

Hukum *Hook* tertulis Modulus Elastisitas adalah rasio antara tekanan, regangan. Karna itu jika modulus elastisitas dan regangan pada sebuah benda uji didapat, maka tekanan bisa dicari. Persamaan Hukum *Hook* dapat dicari

seperti pada Persamaan 1:

$$\sigma = \frac{E}{s} \quad \text{..... Persamaan 1}$$

Dimana:

$\sigma$  = regangan,

$\Delta l/l$  (tanpa satuan)

$s$  = tegangan

geser , kg/cm<sup>2</sup>

$E$  = modulus Young , kg/cm<sup>2</sup>

Disaat 2 *Strain gauge* atau lebih dipakai, maka tekanan yang terjadi pada arah disetiap *strain gauge* dapat dicari melalui perhitungan . Namun persamaan yang ada terdapat tingkat kompleksitas yang berbeda, tergantung dari gabungan *strain gauge*.

Kepekaan dari *Strain Gauge* dikenal dengan *gauge factor* dan perbandingan antara hambatan dan panjang dapat ditulis:

Persamaan *Gauge Factor*:

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} \quad \text{..... Persamaan 2}$$

Dimana:

$K$  = *Gauge Factor*

$\Delta R$  = Perubahan resistansi

$\Delta l$  = Perubahan panjang benda

$R$  = Resistansi

$l$  = Panjang benda

Jadi deformasi pada *strain gauge* dijelaskan sebagai perbandingan dengan tidak ada dimensi, perkalian seperti *micro inch* secara umum dilambangkan dengan persenan (untuk regangan yang besar) atau yang biasa seperti *micro strain*.

Perubahan tahanan  $\Delta R$  di sebuah konduktor yang memiliki panjang, dapat dicari dengan memakai persamaan resistansi sebuah konduktor yang

penampangnya memiliki besar yang sama, dapat dicontohkan pada Persamaan 3.

$$R = \rho \frac{\text{Panjang}}{\text{Luas}} = \frac{\rho \times l}{\frac{\pi}{4} d^2} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3}$$

Dimana:

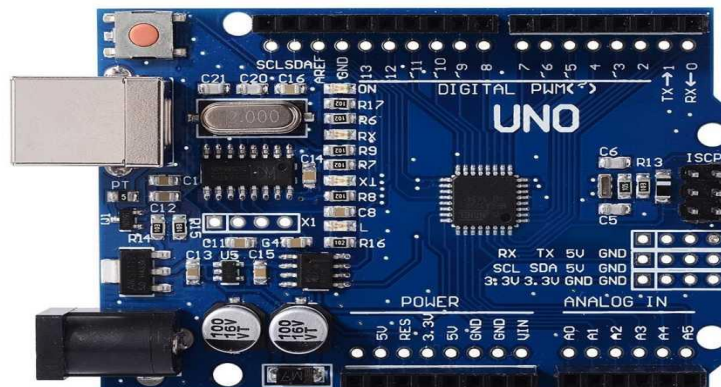
$\rho$  = resistansi benda

$l$  = panjang benda

$d$  = diameter benda

## 2.2 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan *board* yang memakai *mikrokontroler* ATmega328. Pada Arduino Uno terdapat 14 *pin* digital yang dimana 6 *pin* difungsikan untuk *output* PWM, 16 MHz *crystal osilator*, sebuah port *USB*, 6 *input analog*, sebuah konektor untuk sumber tegangan, sebuah *ICSP header*, dan sebuah *reset button*. Arduino Uno memiliki banyak fitur yang digunakan untuk membantu dari *mikrokontroler Atmega3218*. Dengan cara menghubungkan ke sebuah *PC* melalui *USB Port* dan diberikan sumber tegangan *DC* sudah dapat membuatnya berfungsi. Arduino Uno menggunakan mikrokontroller Atmega328 yang dipakai untuk *USB to serial converter* sebagai komunikasi serial pada komputer dengan *USB Port*. Kata Uno berarti satu yang berasal dari bahasa Itali dan diberikan tanda untuk produksi Arduino 1.0. Jenis dari 1.0 adalah jenis referensi Arduino untuk masa yang akan datang. Arduino Uno R3 adalah jenis teranyar dari sebuah Arduino Uno, dan jenis dasar untuk *platform* Arduino. Gambar dari arduino uno ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2. Arduino Uno

(Sumber: <https://www.arduino.cc/en/Products/Counterfeit>, 2016)

Komponen pada *board* Arduino UNO R3 antara lain sebagai berikut:

- *Microcontroller* = *ATmega328*
- Tegangan Operasi = 5 Volt
- Pin Analog *input* = 6
- Tegangan *Input* = 7 - 12 Volt
- Pin digital *Input / Output* = 14 (6 pin untuk *PWM*)
- Arus DC per pin *Input / Output* = 40 mA
- Arus DC untuk pin 3.3 V = 150 mA
- Tegangan *Input* (batasan) = 6-20 Volt
- *Flash Memory* = 32 KB dan 0.5 KB difungsikan untuk *bootloader*
- *EEPROM* = 1 Kilo Byte
- Kecepatan Waktu = 16 Mhz

### 2.2.1 Pin Masukan dan Keluaran Arduino Uno

Dari keseluruhan 14 pin digital pada *board* Arduino dipakai untuk input atau output pada fungsi *pin Mod*, *digitalRead* dan *digitalWrite*. Semua pin berfungsi dengan tegangan 5 V. Semua pin dapat menghasilkan arus paling besar bernilai 40 mA dan mempunyai 10 resistor *pull-up internal* bernilai 20-30 Kilo Ohm. Dan sebagian pin *input digital* mempunyai fungsi yang berbeda antara lain:

- *Serial Communication* = pin 0 sebagai RX dan pin pertama sebagai TX, difungsikan sebagai penerima RX dan pengirim TX data dengan cara serial.
- *External Interrupt* = pin kedua dan pin ketiga, pin ini adalah konfigurasi untuk memicu sebuah *interrupt* untuk nilai terendah, sisi naik ataupun turun, dan pada saat terjadinya perubahan nilai.
- *Pulse-width modulation* atau PWM = pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11 mempunyai *output* PWM 8bit dengan memakai kegunaan *analogWrite*.
- *Serial Peripheral Interface* atau SPI = pin kesepuluh (SS), kesebelas (MOSI), keduabelas (MISO), ketigabelas (SCK), pin-pin ini membantu komunikasi dengan memakai *SPI library*.

- *LED* = pin ketigabelas, mempunyai *LED* yang terkoneksi dengan pin digital 13. Ketika pin mempunyai nilai *High*, *LED* akan hidup, saat pin mempunyai nilai *Low*, *LED* akan mati.

Arduino Uno memiliki 6 masukan analog yang diberi label A0 sampai A5, setiap pin menyediakan resolusi sebanyak 10 bit (1024 nilai yang berbeda).

*Default* pin mengukur nilai voltase dari *ground* bernilai 0 Volt sampai 5 Volt, meskipun bisa mengubah nilai batas atas dengan memakai pin *AREF* dan juga fungsi *analogReference*. Untuk sebagian pin *input analog* mempunyai sebuah fungsi tertentu seperti pin A4 atau SDA dan juga pin A5 atau SCL yang difungsikan sebagai komunikasi *Two Wire Interface* atau *TW*) dan *Inter Integrated Circuit* (*I2C* dengan memakai *Wire library*). (Duta, 2015 :8)

### 2.2.2 Catu Daya

Arduino uno bisa dikasih daya dengan memakai *USB connection* ataupun memakai *external power supply*. Apabila arduino uno dikoneksikan dengan kedua sumber daya yang ada dengan cara bersama-sama, arduino uno lebih menggunakan salah satunya dari sumber daya dengan cara otomatis untuk digunakan. *External Power supply* bisa didapat dari *adaptor AC to DC* ataupun *battery*. Adaptor bisa disambungkan kedalam *power socket* yang ada di arduino uno. Apabila memakai baterai, ujung dari kabel yang dikoneksikan kedalam baterai dihubungkan ke pin *Ground* dan *V Input* yang ada di *power connector*. Arduino uno bisa berfungsi di kondisi voltase 6V hingga 20V. Voltase yang direkomendasikan untuk difungsikan ke arduino uno sebesar antara lain 7V sampai dengan 12V. Adapun beberapa pin yang ada pada catu daya :

–*V input* merupakan pin yang berfungsi memberikan voltase sumber kedalam arduino uno pada saat beroperasi pada sumber daya eksternal. Voltase sumber dapat juga diberikan oleh pin yang ada, apabila sumber daya dioperasikan kedalam arduino uno disalurkan menggunakan *power socket*.

–Pin 5 Volt merupakan pin yang mampu memberikan voltase antara lain bertegangan 5V yang di dapat melalui voltase regulator yang ada di Arduino uno.

–Pin 3 Volt merupakan pin yang mampu memberikan voltase antara lain bertegangan 3,3V yang di dapat melalui voltase regulator yang ada di Arduino uno.

–Ground merupakan Pin ground.

(Syahwil, 2013 :65)

### 2.2.3 Memori

Arduino Uno merupakan *board* arduino yang memakai *microcontroller ATmega328*. Dan letak *memory* yang ada di *board* arduino uno berbentuk mirip dengan letak *memory* yang ada di *microcontroller ATmega328*. *Microcontroller ATmega328* mempunyai *memory* sebesar 32Kilo Byte, yang dimana 0,5 Kilo Byte difungsikan sebagai *file loading*. Serta mempunyai 2 Kilo Byte yang berasal S RAM maupun 1 Kilo Byte dan juga di *EEPROM*.

#### 2.2.3.1 Memori Data

*Data memory* pada *ATmega328* dibagi antara lain pada 4 bagian yang dimana 32 tempat sebagai *common register*, 64 tempat sebagai *register Input / Output*, 160 tempat sebagai *register input / Ouput* yang ditambahkan serta ada sisa berjumlah 2048 tempat sebagai *S RAM internal data*. Common Register berada pada lokasi data yang di paling bawah, sebesar 0 x 0000 hingga 0 x 001F. *Register Input / Output* berada pada 64 lokasi selanjutnya dari mulai 0 x 0020 mencapai 0 x 005F. *Register Input / Output* yang lain berada pada posisi 160 lokasi selanjutnya bermula sebesar 0 x 0060 mencapai 0 x 00FF. Lokasi yang selanjutnya bermula sebesar 0 x 0100 mencapai 0 x 08FF difungsikan sebagai *S RAM internal*.

#### 2.2.3.2 Memori Data EEPROM

*Board* Arduino memiliki data 1 Kilo Byte *data memory* yang ada di *EEPROM*. Didalam *memory EEPROM* data bisa dituliskan lagi serta pada saat catu daya dinonaktifkan, data paling akhir yang berada di *memory EEPROM* tetap berada didalam memori nya, dengan maksud berbeda, *EEPROM memory* mempunyai sifat *nonvolatile*. Lokasi pada *EEPROM* bermula 0 x 000 mencapai 0 x 3FF.



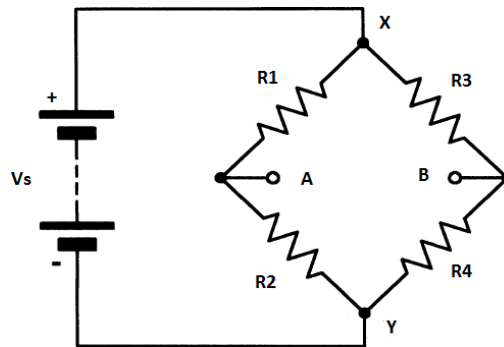
### 2.2.4 Komunikasi

Board Arduino mempunyai beberapa fitur yang berguna sebagai komunikasi ke sebuah *computer*, Arduino dan *mikrocontroller* yang berbeda. *ATmega328* mempunyai *UART TTL* sebesar 5 Volt komunikasi berserial, dan berada pada *digital pin* 0 (*RX*) serta 1 (*TX*). *Firmware* yang ada pada Board Arduino beroperasi dengan *USB driver* yang umum, serta tidak terdapat *external driver* yang dipakai. Akan tetapi, sistem operasisional *Windows*, format pada *file Inf* diperlukan. *Software* pada board Arduino dan juga *serial monitor* yang mungkin difungsikan data yang tidak rumit yang dikirimkan kedalam board Arduino *ATmega328* dapat membantu hubungan antara I2 C (*TWI*) serta *SPI*. Fitur difungsikan bertujuan untuk menghubungkan antara *inteface communication* dalam sistem. (Duta, 2015 : 13).

### 2.3 Jembatan Wheatstone

*Wheatstone Bridge* merupakan rangkaian listrik yang cukup simpel serta mudah ditemukan dan digunakan. Jembatan *Wheatstone* difungsikan kepada aplikasi pengkondisi sinyal yang didalamnya terdapat transduser merubah resistansi untuk perubahan variabel yang dinamik. Ada sebagian modifikasi dari jembatan dasar inipun digunakan untuk aplikasi spesifik lainnya. Dalam aplikasi terbaru, *detektor* setimbang merupakan *amplifier* diferensial impedansi input yang sangat tinggi. Dalam beberapa kasus, Galvanometer yang sensitif terhadap impedansi yang cukup rendah dapat digunakan, khususnya untuk kalibrasi maupun instrumen-instrumen pengukuran tunggal.

Rangkaian Jembatan Wheatstone adalah suatu rangkaian yang terdiri dari catu daya (*power supply*) dan resistor. Sedangkan Jembatan wheatstone merupakan rangkaian jembatan yang digunakan untuk mengukur presisi tahanan dengan nilai 1 ohm hingga mega ohm. Pada umumnya rangkaian jembatan wheatstone digunakan dalam perhitungan resistansi yang tidak diketahui dengan bantuan dari rangkaian jembatan. Dua kaki yang terdapat pada rangkaian *wheatstone* harus disimpan secara seimbang dan satu kaki lainnya merupakan resistansi yang tidak di ketahui. Berikut gambar rangkaian jembatan *wheatstone*:

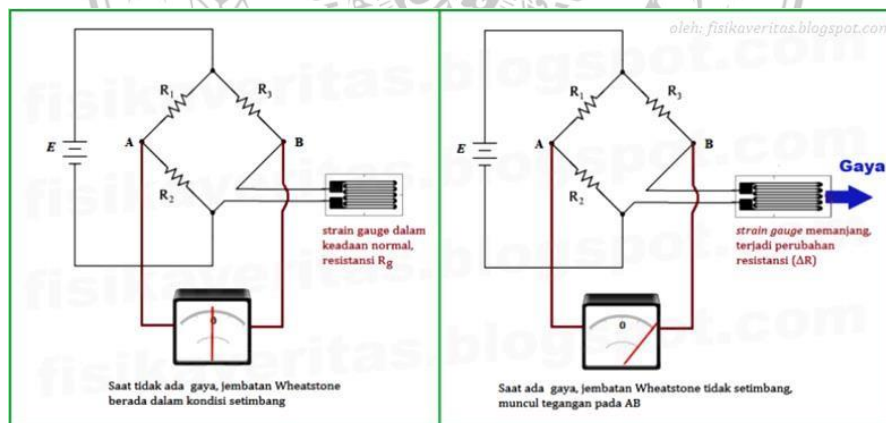


Gambar 3. Rangkaian Jembatan Wheatstone

(Sumber: [lensateknik.blogspot.com](http://lensateknik.blogspot.com))

### 2.3.1 Skema Rangkaian Jembatan Wheatstone dengan Sensor *Strain Gauge*

*Strain Gauge* adalah komponen elektronik untuk melakukan pengukuran tekanan (*strain*). Alat ini berbentuk kawat logam atau *foil* logam yang memiliki sifat insulatif yang dipasangkan pada benda yang akan diukur berat atau tekanannya, dan tekanan berasal dari pembebanan. Prinsipnya jika terjadi perubahan tekanan pada benda, maka kawat akan ter deformasi, dan tahanan



listrik akan berubah. Perubahan tahanan listrik ini akan dimasukkan kedalam rangkaian jembatan *Wheatstone*. Berikut gambar rangkaian jembatan *wheatstone*.

(Sumber : [lensateknik.blogspot.com](http://lensateknik.blogspot.com))

Setelah hal tersebut, maka akan diketahui nilai besar tahanan Strain

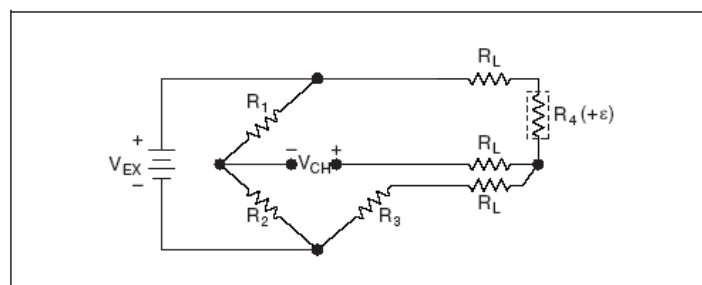
Gambar 4. Skema Rangkaian Jembatan Wheatstone

Gauge. Tegangan yang keluar dari jembatan Wheatstone merupakan suatu ukuran regangan yang terjadi akibat tekanan yang dihasilkan setiap elemen pengindera Strain Gauge.

### 2.3.2 Jenis-Jenis Jembatan

#### 2.3.2.1 Quarter-Bridge

*Quarter-Bridge* digunakan untuk mengukur gaya *axial* atau gaya *circumisial* dan tegangan *bending*. Berikut merupakan gambar *Quarter Bridge*:

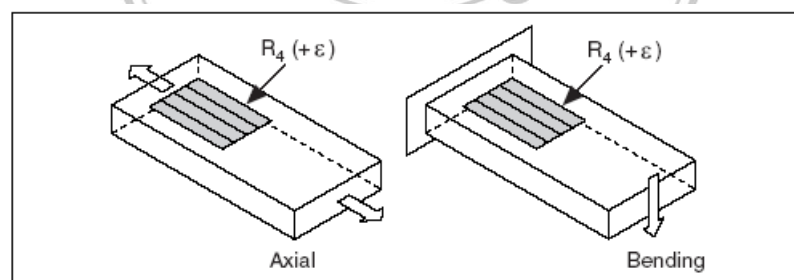


Gambar 5. *Quarter-Bridge Diagram Circuit*

(Sumber : [lensateknik.blogspot.com](http://lensateknik.blogspot.com))

Keterangan Gambar:

- $R_1$  Dan  $R_2$  adalah *half-bridge* resistor penyelesaian.
- $R_3$  adalah resistor pelengkap dari *socket quarter-bridge*
- $R_4$  adalah elemen aktif yang mengukur regangan tarik



Gambar 6. *Quarter-Bridge*

(Sumber : [lensateknik.blogspot.com](http://lensateknik.blogspot.com))

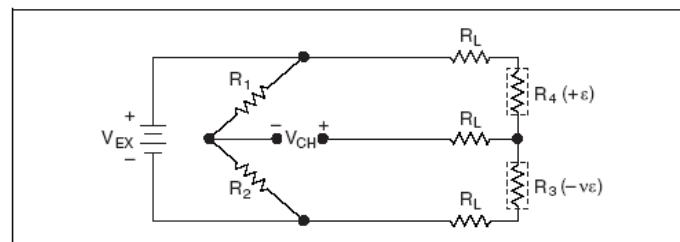
Karakteristiknya adalah:

- Satu *Strain guage* yang aktif, searah gaya *axial* atau tegangan bending

- b) *Quarter Bridge* yang pasif, diperlukan sebagai pelengkap *half bridge*
- c) Kurang teliti untuk mengukur perubahan-perubahan suhu

### 2.3.2.2 Half-Bridge

*Half-Bridge* digunakan untuk mengukur salah satu gaya *axial/circumsial* atau regangan. Berikut merupakan gambar *Half Bridge*:

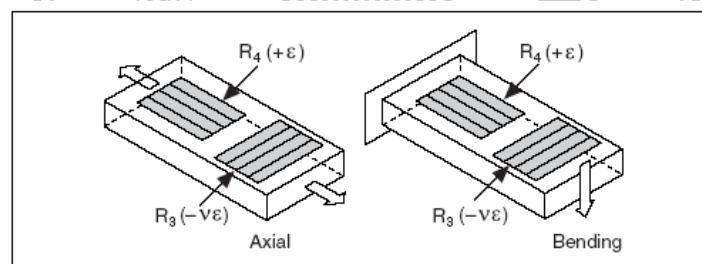


Gambar 7. Half-Bridge Diagram Circuit

(Sumber : lensateknik.blogspot.com)

Keterangan gambar:

- $R_1$  Dan  $R_2$  adalah *half-bridge* resistor penyelesaian.
- $R_3$  adalah elemen aktif yang mengukur kompresi dari Efek rasio *poison*.
- $R_4$  adalah elemen aktif yang mengukur regangan tarik.



Gambar 8. Half bridge

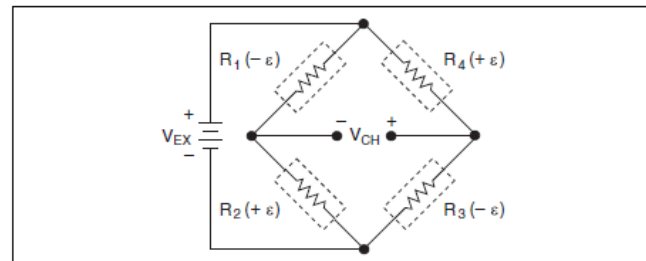
(Sumber : lensateknik.blogspot.com)

Ciri-cirinya adalah:

- a) Kedua elemen *strain gauge* aktif. Salah satu membaca regangan *axial/circumsial*, yang lain mengukur *poison rasio* dan mengarah tegak lurus terhadap sumbu utama regangan.
- b) Resistor penyelesaian menyediakan *half bridge*.
- c) Sensitif terhadap keduanya di sekitar *axis* dan regangan lentur.

### 2.3.2.3 Full Bridge

*Full-bridge* digunakan untuk mengukur tegangan lentur. Berikut merupakan gambar *Full Bridge*:

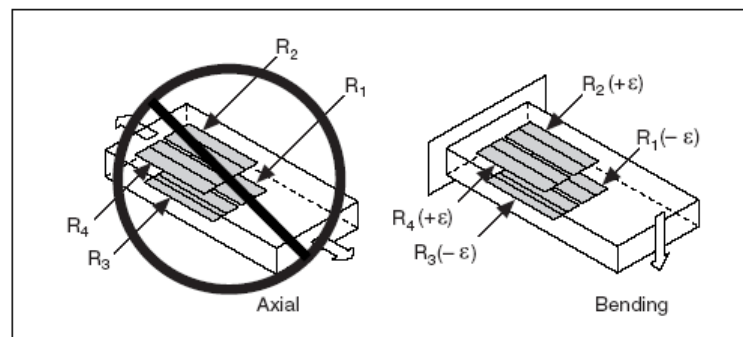


Gambar 9. Full-Bridge Diagram Circuit

(Sumber : lensateknik.blogspot.com)

Keterangan gambar:

- $R_1$  adalah unsur aktif yang mengukur tegangan tekan.
- $R_2$  adalah unsur aktif yang mengukur beban tarik.
- $R_3$  adalah unsur aktif yang mengukur ketegangan *compressive*
- $R_4$  adalah s unsur aktif yang mengukur beban tarik.



Gambar 10. Full Bridge

(Sumber : lensateknik.blogspot.com)

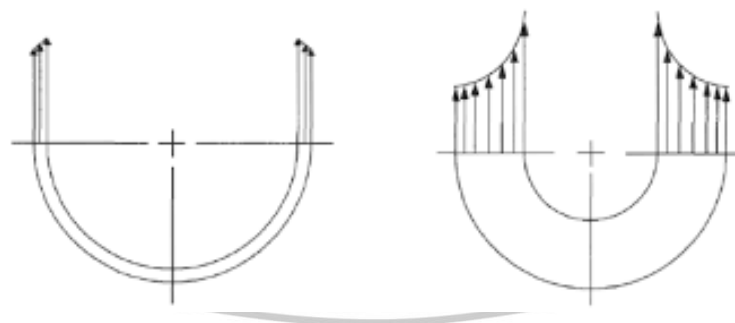
Ciri-cirinya:

- Empat unsur alat ukur aktif, dua tegangan lentur di samping benda uji (atas), dua lainnya searah terhadap regangan lentur pada sisi berlawanan (alas).
- Sangat sensitif tegangan lentur.

Dalam perancangan yang dilakukan, jenis jembatan wheatstone yang digunakan adalah jenis *Quarter Bridge*. Dengan alasan, objek penelitian yang digunakan adalah berupa alat percobaan bejana tekan atau kaleng dan gaya yang terjadi dalam pembebanan pada kaleng adalah berupa gaya *aksial* ataupun gaya *circumferensial*.

#### 2.4 Bejana Tekan (*Pressure Vessel*)

Bejana tekan atau *Pressure Vessel* adalah wadah tertutup sebagai penampungan fluida bertekanan, di mana fluida yang tersimpan dapat berubah fase saat berada dalam bejana tekan. Tekanan dalam bejana tekan biasanya lebih tinggi daripada tekanan luar. Penggunaan bejana tekan biasa digunakan untuk menggabungkan antara tekanan tinggi dan suhu tinggi, fluida yang mudah terbakar, dan material yang memiliki tingkat radio aktif cukup tinggi (Syaefrudin, 2010). Berdasarkan dimensi dinding, bejana tekan memiliki dua macam, yaitu: 1. Bejana tekan dengan dinding tebal, dimana dinding memiliki ketebalan lebih dari  $1/20$  diameter sheel. 2. Bejana tekan dengan dinding tipis, dimana dinding memiliki ketebalan kurang dari  $1/20$  diameter sheel.



Gambar 11. Bejana Tekan Dinding Tipis (kiri) dan Bejana Tekan Dinding Tebal (kanan)

(Sumber: Dennis R. Moss, edisi ke-3, 2004)

Perbedaan bejana tekan dengan dinding tipis dan dengan dinding tebal adalah perbedaan distribusi tegangan yang dihasilkan pada dinding bejana tekan tersebut. Untuk bejana tekan dengan dinding tipis, distribusi tegangan yang dihasilkan dapat diabaikan karena perbedaan pada diameter luar dan diameter dalam sangat tipis sehingga distribusi tegangan yang dihasilkan cukup kecil. Sedangkan untuk bejana tekan dengan dinding tebal distribusi tegangan harus diperhitungkan, dapat dilihat pada gambar 2.11 (Desnis R. Moss, 2004).

### 2.4.1 Pembebanan pada Bejan Tekan

Pembebanan pada dinding dan kepada bejana tekan berbentuk silinder horizontal adalah sebagai berikut:

- Tekanan dalam akibat *internal pressure*.
- Berat dari bejan tekan
- Beban akibat faktor alam

### 2.4.2 Tegangan Akibat Dari Tekana Dalam (*Internal Pressure*)

#### 2.4.2.1 Tegangan Longitudinal

Tegangan ini sebagai akibat internal pressure 'P' yang bekerja pada silinder dengan ketebalan 't' panjang 'l' dan jari-jari 'r' dan cenderung untuk menekan dinding bejana dearah dengan poros silinder.

Besarnya tegangan longitudinal ditunjukkan pada Persamaan 4 :

$$\sigma_L = pr/2t \dots\dots\dots \text{Persamaan 4}$$

#### 2.4.2.2 Tegangan Keliling (*Circumferential Stress*)

Tegangan ini akibat internal pressure yang arah gayanya cenderung untuk menekan dinding bejana kearah keliling dinding silinder. Besarnya tegangan keliling ditunjukkan pada Persamaan 5 :

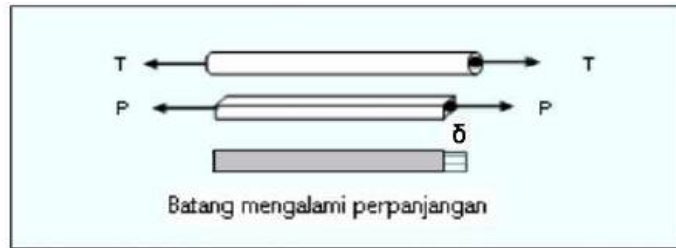
$$\sigma_c = pr/t \dots\dots\dots \text{Persamaan 5}$$

### 2.4.3 Tegangan-Tegangan Dasar

#### 2.4.3.1 Tegangan Normal

Jika terdapat sebuah batang prismatik yang memiliki luas tampang seragam pada sepanjang batang, menerima beban atau gaya searah dengan panjang batang, maka gaya tersebut akan menghasilkan sebuah tegangan atau tekanan ditampang batang. Tegangan ataupun tekanan adalah besaran gaya per satuan luas tampang.

Sehingga besar sebuah tegangan yang dialami oleh batang prismatik tersebut masing-masing adalah sebesar  $T/A$  dan  $P/A$ . Pada gambar 2.12, A menunjukkan luas tampang melintang batang yang dikenai T atau P



Gambar 12. Tegangan Normal Tarik pada Batang Prismatik  
(Sumber : Ferdinand L Singer ,Mekanika Bahan)



Gambar 13. Tegangan Normal Tekan pada Batang Prismatik  
(Sumber : Ferdinand L Singer ,Mekanika Bahan)

Jika batang prismatik menerima sebuah gaya tarikan (Gambar 2.12), maka akan menghasilkan tegangan tarik. Dan apabila batang prismatik menerima sebuah gaya tekan, (Gambar 2.13) maka akan menghasilkan tegangan tekan ditampang melintang batang. Tegangan dinyatakan dengan simbol  $\sigma$ . Besaran tegangan secara umum dituliskan dengan formula seperti berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 6}$$

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan( $\text{N/m}^2$ )

P = Besarnya gaya (N)

A = Luas tampang (m)

(Sumber : Dian Ariestadi, Teknik Struktur Bangunan)

#### 2.4.3.2 Regangan

Regangan adalah perubahan bentuk, namun demikian kata-kata ini sering digunakan oleh orang awam untuk merancang gaya yang menghasilkan perubahan bentuk dalam suatu benda. Seluruh bagian bahan



yang mengalami gaya-gaya luar, dan tegangan dalam akan menjalani perubahan bentuk (mengalami regangan). Misalnya disepanjang batang yang mendapatkan beban tarik aksial akan diperpanjang atau teregang, sedangkan kolom yang menopang beban aksial akan diperpendek atau tertekan. Perubahan *total deformation* (bentuk total) yang dihasilkan sebuah batang akan dinyatakan dengan  $\delta$ . Apabila panjang batang dinyatakan dengan  $L$ . Perubahan bentuk persatuan panjang dinyatakan dengan  $\varepsilon$ , maka dapat dirumuskan seperti pada persamaan 7:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots \text{Persamaan 7}$$

Besaran perubahan bentuk total  $\delta$  dan panjang  $L$ , umumnya diberikan dalam in. Akibat perubahan bentuk satuan  $\varepsilon$  dalam inci per inci (atau milimeter per milimeter). Pada suatu batang lurus sempurna dari suatu bahan homogen dan berpotongan penampang konstan,  $\varepsilon$  akan mengalami perubahan bentuk satuan yang aktual. (Jensen/Chenoweth, Kekuatan Bahan Terapan, edisi keempat)

Apabila rasio antara dua panjang, maka regangan dikatakan besaran tak berdimensi, dimana regangan tidak memiliki satuan. Maka, regangan akan dinyatakan hanya dengan suatu bilangan dan tidak bergantung pada sistem satuan apapun.

Besarnya perubahan bentuk yang dihasilkan pada suatu batang dari bahan struktural akan hanya mengalami perubahan panjang yang sangat kecil apabila dibebani.

#### 2.4.3.3 Modulus Elastisitas

Hubungan linier antara regangan dengan tegangan untuk sebuah batang yang mengalami tekan ataupun tarik sederhana dinyatakan dengan:

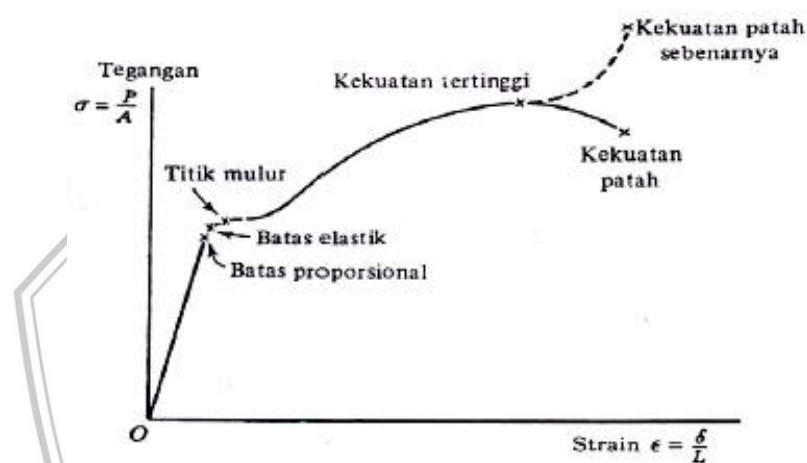
$$\sigma = E \varepsilon \quad (\text{N/m}^2) \dots\dots\dots \text{Persamaan 8}$$

$\sigma$  merupakan tegangan aksial,  $\varepsilon$  merupakan regangan aksial, dan  $E$  merupakan konstanta proporsionalitas atau modulus elastisitas bahan tersebut. Modulus elastisitas merupakan kemiringan kurva dari tegangan-regangan yang berada dalam daerah elastis linier, karena regangan tidak

memiliki dimensi, maka satuan untuk  $E$  bernilai sama dengan satuan untuk tegangan. Satuan tipikal untuk  $E$  merupakan psi atau ksi pada satuan pascal dan USCS (atau kelipatan darinya) dalam satuan SI.

Persamaan  $\sigma = E \varepsilon$  dikenal sebagai hukum Hooke, persamaan ini adalah versi yang sangat terbatas dari hukum Hooke karena hanya menghubungkan regangan dan tegangan longitudinal yang terjadi pada tarik dan tekan sederhana pada sebuah batang (tegangan uniaksial).

#### 2.4.3.4 Diagram Tegangan Regangan



Gambar 14. Diagram Tegangan Regangan  
(Sumber : Ferdinand L Singer ,Mekanika Bahan)

Keterangan gambar :

Sumbu horisontal menggambarkan regangan dan sumbu vertika menggambarkan tegangan. Diagramnya mulai dengan garis lurus dari O hingga batas proporsional, dalam daerah ini tegangan berbanding lurus dengan regangan dan sifat bahan dikatakan linier.

Dengan penambahan beban sampai pada batas elastis, artinya material akan kembali pada bentuk semula.

Pemberian beban yang melebihi batas elastis mengakibatkan kenaikan regangan yang terjadi lebih cepat untuk setiap tambahan tegangan, pada titik ini material akan mengalami kemuluran atau lebih dikenal terjadi pelelehan bahan, dan daerahnya disebut titik luluh/mulur (*yield point*).

Setelah terjadi regangan besar selama pelelehan dalam daerah titik mulur, regangan mulai menguat sehingga didalam bahan terjadi perubahan-perubahan struktur atom dan kristalnya, yang menghasilkan ketahanan bahan terhadap deformasi selanjutnya. Dengan penambahan beban, tegangan semakin besar sehingga terjadi pemanjangan (regangan semakin besar pula) dan akhirnya penambahan beban mencapai harga maksimum, ini disebut tegangan batas, artinya bahan mempunyai *kekuatan tertinggi* terhadap beban maksimum yang diberikan.

Karena beban terus ditambah maka material mengalami *patah*, sehingga bahan diketahui berapa besar kekuatan patahnya. *Kekuatan patah sebenarnya* merupakan titik dimana untuk mencari tegangan sebenarnya sehingga gambar diagramnya ditunjukkan dengan garis putus-putus dengan arah naik.

#### **2.4.3.5 Poison Rasio**

Apabila sebuah batang bertambah panjang disebabkan suatu pembebanan tarik, maka batang akan berkontraksi pada setiap arah yang tegak lurus dengan arah pembebanan. Dalam batas elastik, rasio dari regangan tekan lateral terhadap regangan tarik aksial bernilai konstan, dan dinyatakan *rasio poisson* ( $\nu$ ). Jadi suatu tegangan aksial  $\sigma_x$  akan menimbulkan sebuah regangan aksial  $\epsilon_x = \sigma_x / E$  dan regangan lateral  $\epsilon_y = -\nu \epsilon_x$ , dengan  $y$  merupakan arah normal terhadap  $x$ . Tanda negatif digunakan agar regangan tarik adalah positif serta regangan tekan adalah negatif.